

Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

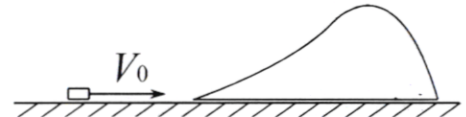
Шифр 15-003

(заполняется секретарём)

Вариант 11-03

1. Небольшой шарик висит на легкой нити длиной 50 см. Какую минимальную горизонтальную скорость надо сообщить шарiku, чтобы он, двигаясь по окружности, совершил полный оборот в вертикальной плоскости? Принять $g=10 \text{ м/с}^2$.

2. Небольшая шайба массой m скользит по гладкому горизонтальному столу со скоростью v_0 к неподвижной незакрепленной горке массой $3m$ (см. рис.). Шайба въезжает на горку, движется по ней без трения и отрыва и съезжает с горки в обратном направлении.

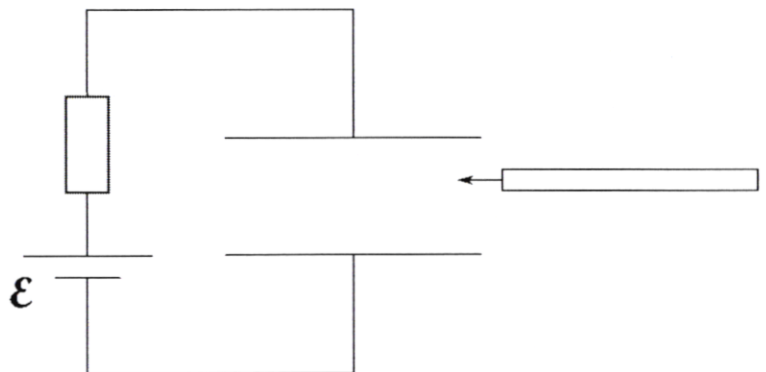


- 1) На какую максимальную высоту поднимается шайба?
- 2) С какой скоростью шайба съезжает с горки?

3. Теплоизолированный сосуд объемом $V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ разделен перегородкой на две части с различными объемами. В первой части находится гелий при температуре 27°C в количестве $\nu_1 = 0,2$ моль. Во второй части находится гелий при температуре 7°C в количестве $\nu_2 = 0,3$ моль. Перегородка прорывается.

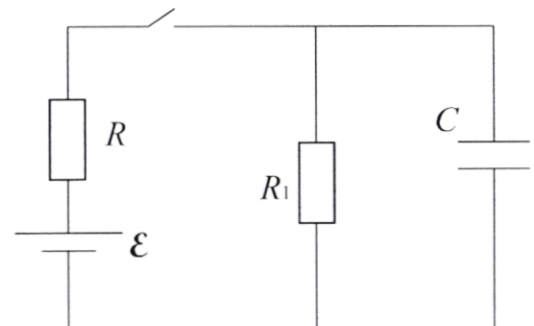
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

4. Плоский воздушный конденсатор емкостью C_0 подсоединен через резистор к источнику с ЭДС \mathcal{E} (см. рис.). В конденсатор вводят параллельно обкладкам незаряженную проводящую пластину и располагают ее напротив обкладок. Форма поверхности пластины совпадает с формой поверхности обкладок. Толщина пластины в 4 раза меньше расстояния между обкладками.



- 1) Найти емкость конденсатора с пластиной.
- 2) Какой заряд пройдет через резистор после начала введения пластины?

5. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут. Параметры цепи указаны на схеме. Внутреннее сопротивление источника «содержится» в R , $R_1=3R$. Ключ замыкают. После достижения в цепи установившегося режима ключ размыкают. Известными величинами считать C , \mathcal{E} , R .



- 1) Найти ток через источник сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти установившееся напряжение на конденсаторе при замкнутом ключе.
- 3) Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

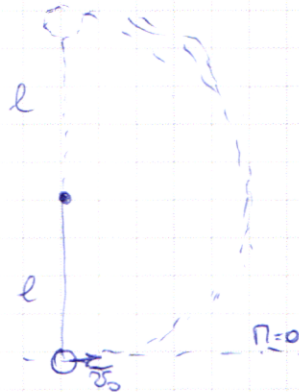
Дано:

$v_0 = ?$

$l = 0,5 \text{ м}$

$g = 10 \text{ м/с}^2$

Решение:



По ЗСЭ: $\frac{mv_0^2}{2} = mg \cdot 2l$

$$v_0 = 2\sqrt{gl}$$

$$v_0 = 2\sqrt{5} \approx 4,46 \text{ м/с}$$

Ответ: 4,46 м/с

№2

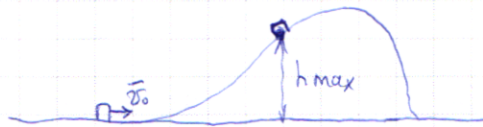
Дано:

$3m, m, v_0$

$h_{\text{max}} = ?$

$v = ?$

Решение:



1) ЗСЭ: $\frac{mv_0^2}{2} = mgh_{\text{max}} + \frac{3mv_r^2}{2}$

v_r — скорость гирьки, как того, как на неё закончилась.

2) ЗСИ: $mv_0 = 3mv_r$

$$v_0 = 3v_r, \quad v_r = \frac{v_0}{3}$$

3) ЗСЭ: $\frac{mv_0^2}{2} = \frac{3mv_r^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$

$$v_0^2 - 3v_r^2 = v^2$$

$$v = \sqrt{v_0^2 - \frac{v_0^2}{3}} = v_0 \sqrt{\frac{2}{3}}$$

Ответ: $h_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{3g}$; $v = v_0 \sqrt{\frac{2}{3}}$

3) Тогда, $\frac{mv_0^2}{2} = mgh_{\text{max}} + \frac{3mv_r^2}{2}$

$$v_0^2 = 2gh_{\text{max}} + 3v_r^2$$

$$v_0^2 = 2gh_{\text{max}} + \frac{v_0^2}{3}$$

$$2v_0^2 = 6gh_{\text{max}}$$

$$h_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{3g}$$

№3

Дано:

$V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$

$\nu_1 = 0,2 \text{ моль}$

$\nu_2 = 0,3 \text{ моль}$

$t_1 = 27^\circ\text{C}, t_2 = 7^\circ\text{C}$

Найти

$t = ?$

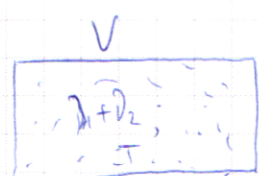
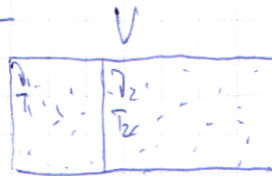
$p_k = ?$

СИ

$T_1 = 300 \text{ К}$

$T_2 = 280 \text{ К}$

Решение:



Т.к. созд. теплообменник, внутренняя энергия газа остается неизменной во время всего процесса.

$$\frac{3}{2} \nu_1 R (T - T_1) + \frac{3}{2} \nu_2 R (T - T_2) = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) R (T_1 - T_2)$$

$$T = \frac{(\nu_1 + \nu_2) (T_1 - T_2) + \nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{0,5 \cdot 20 + 84 + 60}{0,5} = 308 \text{ K}$$

$$t = T - 273 = 35^\circ \text{C}$$

По уравнению Менделеева - Клапейрона: $p_k V = \nu R T$, где $\nu = \nu_1 + \nu_2$.

$$\text{Тогда, } p_k = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T}{V} = \frac{0,5 \cdot 8,31 \cdot 308}{8,31 \cdot 10^{-3}} = 1,54 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Ответ: 35°C ; $1,54 \cdot 10^5 \text{ Па}$

№ 4

Дано:

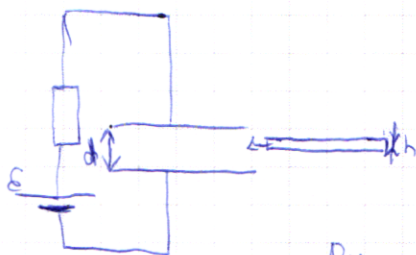
$C_0, \epsilon,$

$h = \frac{d}{4}$

$C - ?$

$\Delta q^* - ?$

Решение:



1) Емкость конденсатора до вставки

пластины: $C_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$, $\epsilon = 1$ (т.к. воздух),

S - площадь пластин конденсатора,

d - расстояние между ними.

Внесение пластины можно рассмотреть, как

уменьшение расстояний между обкладками на $h = \frac{d}{4}$ (т.к. пластина проводит заряды)

Значит емкость после вставки пластины: $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{(d - \frac{d}{4})} = \frac{4}{3} C_0$

2) Через конденсатор проходит заряд $\Delta q = q_2 - q_1$, $q_1 = \epsilon C_0$,

$q_2 = \frac{4}{3} \epsilon C$

$\Delta q = \frac{CE}{3}$. Такой же заряд пройдет и через резистор. ~~$\Delta q = \Delta q^* = \frac{CE}{3}$~~

Ответ: $\frac{4}{3} C_0$; $\frac{CE}{3}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5

Дано:

C, ε, R

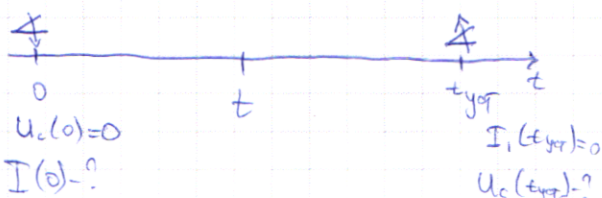
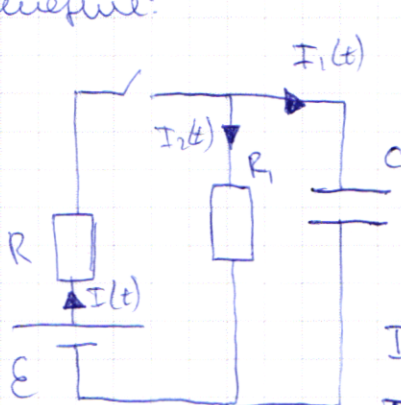
$R_1 = 3R$

$I(0) - ?$

$U_c(t_{\text{уст}}) - ?$

$Q - ?$

Решение:



Путь polarity конденсатора: $\frac{+}{-}$

IЗК (1-й закон Кирхгофа): $I(t) = I_1(t) + I_2(t)$

IIЗК: $\varepsilon = I(t)R + 3I_2(t)R$

IIЗК: $\varepsilon = I(t)R + U_c(t)$

В начальный момент времени (когда ключ замыкают) напряжение на конденсаторе $U_c(0) = 0 \Rightarrow I(0) = \frac{\varepsilon}{R}$

Ток через конденсатор в установившемся режиме не течёт.

$$I_1(t_{\text{уст}}) = 0 \Rightarrow I(t_{\text{уст}}) = I_2(t_{\text{уст}})$$

$$I(t_{\text{уст}}) = \frac{\varepsilon}{4R}$$

$$\varepsilon = 4I(t_{\text{уст}})R$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon}{4} + U_c(t_{\text{уст}})$$

$$\varepsilon = I(t_{\text{уст}})R + U_c(t_{\text{уст}})$$

$$U_c(t_{\text{уст}}) = \frac{3\varepsilon}{4}$$

После замыкания ключа вся энергия, запасённая на конденсаторе пойдёт на выделение тепла на резисторах: $W_c = Q$

$$W_c = \frac{C(U_c(t_{\text{уст}}))^2}{2} = \frac{3C\varepsilon^2}{4} \Rightarrow Q = \frac{3C\varepsilon^2}{4}$$

Ответ: $I(0) = \frac{\varepsilon}{R}$; $U_{c, \text{уст}} = \frac{3\varepsilon}{4}$; $Q = \frac{3C\varepsilon^2}{4}$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

После разрядки конденсатора вся энергия, накопленная на конденсаторе
пойдёт на выделение тепла на резисторе $W_c = Q$

$$W_c = \frac{C(U_0)^2}{2} = \frac{3CE^2}{4} \Rightarrow Q = \frac{3CE^2}{4}$$

Ответ: $I = \frac{E}{R}$; $U_c = \frac{3E}{4}$; $Q = \frac{3CE^2}{4}$

№3

$$V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

моль

$$T_1 = 300 \text{ К}$$

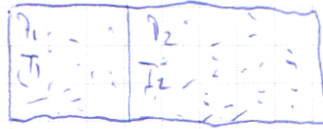
$$T_2 = 280 \text{ К}$$

$$p_1 = 0,2 \text{ мПа}$$

$$p_2 = 0,3 \text{ мПа}$$

$T = ?$

$p = ?$



$$U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$$

$$\frac{3}{2} p_1 \nu_1 R (T_1 - T) + \frac{3}{2} p_2 \nu_2 R (T_2 - T) = 0$$

$$p_1 \nu_1 = p_1 T_1$$

$$\frac{p_1 \nu_1}{p_2 \nu_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$p_2 \nu_2 = p_2 T_2$$

$$\nu_1 + \nu_2 = \nu$$

$$p_k = p_1 + p_2 \quad (\text{по закону Дальтона})$$

$$p_1 T_1 - p_1 T + p_2 T_2 - p_2 T = \frac{5}{3} p_1 T + \frac{5}{3} p_2 T$$

$$-p_1 T + p_2 T_2 = \frac{8}{3} p_1 T + \frac{2}{3} p_2 T$$

$$T = \frac{p_1 T_1 - p_2 T_2}{\frac{8}{3} p_1 + \frac{2}{3} p_2} = \frac{0,2 \cdot 300 - 0,3 \cdot 280}{\frac{8}{3} \cdot 0,2 + \frac{2}{3} \cdot 0,3} = 200$$

$$p_1 T_1 - p_1 T + p_2 T_2 - p_2 T = p_1 T + p_2 T$$

$$T = \frac{p_2 T_2 - p_1 T_1}{2 p_2} = \frac{0,3 \cdot 280 - 0,2 \cdot 300}{0,6} = 200$$

№3

$T_1, T_2,$
 $\nu_1, \nu_2,$
 V
 $T = ?$
 $P = ?$

ν_1	ν_2
ρ_1	ρ_2
T_1	T_2

Т.к. сосуд теплоизолирован,
внутренняя теплота га не изменяется
после процесса.

$$\frac{3}{2} \nu_1 R (T_1 - T) + \frac{3}{2} \nu_2 R (T - T_2) = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) R (T_1 - T_2)$$

$$\nu_1 T_1 - \nu_1 T + \nu_2 T - \nu_2 T_2 = (\nu_1 + \nu_2) (T_1 - T_2)$$

$$T = \frac{(\nu_1 + \nu_2) (T_2 - T_1) + \nu_2 T_2 - \nu_1 T_1}{\nu_2 - \nu_1} = \frac{0,5 \cdot 20 + 24}{0,5} = 340 \text{ K}$$

$t = 67^\circ \text{C}$

$$\nu_1 T - \nu_1 T_1 + \nu_2 T - \nu_2 T_2 = (\nu_1 + \nu_2) (T_1 - T_2)$$

$$T = \frac{(\nu_1 + \nu_2) (T_1 - T_2) + \nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{0,5 \cdot 20 + 84 + 60}{0,5} =$$

$$P_k V = (\nu_1 + \nu_2) R T$$

$$P_k = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T}{V} = \frac{0,5 \cdot 8,31 \cdot 308}{8,31 \cdot 10^{-3}} = 154 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$t = 35^\circ \text{C}$
 $1 \text{ ат.т} = 308$

$$\frac{m v_0^2}{2} = mgh_{\text{max}} + \frac{3m v_r^2}{2}$$

$$m v_0 = 3m v_r$$

$$v_0^2 = 2gh_{\text{max}} + 3v_r^2$$

$$v_0 = 3v_r$$

$$v_0^2 = 2gh_{\text{max}} + \frac{v_0^2}{3}$$

$$v_r = \frac{v_0}{3}$$

$$2v_0^2 = 6gh_{\text{max}} \quad \frac{v_0^2}{3} = h_{\text{max}}$$

$$v_0 = \sqrt{2gh_{\text{max}}}$$

$$v_{\text{max}} = \frac{v_0}{3}$$

$$\frac{m v_0^2}{2} - \frac{3m v_r^2}{2} = \frac{m v_0^2}{2}$$

$$v_0^2 - 3v_r^2 = v_0^2$$

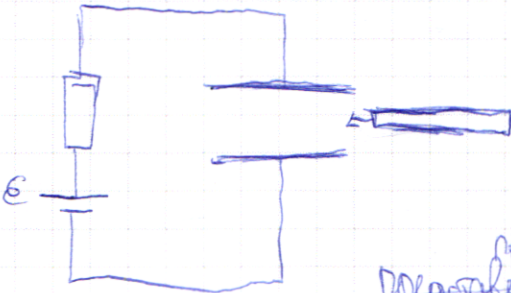
$$v_r = \sqrt{v_0^2 - \frac{v_0^2}{3}} = v_0 \sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$n_1 T_1 - n_2 T_2 + n_2 T_1 - n_1 T_2 = (n_1 + n_2) T$$

$$n_1 T_1 + n_2 T_2 = (n_1 + n_2) T + n_2 T_1 - n_1 T_2$$

$$T = \frac{n_1 T_1 - n_2 T_2}{n_1 + n_2} = \frac{0,2 \cdot 300 - 0,3 \cdot 280}{2 \cdot 0,2} = \frac{120 - 84}{0,4} = \frac{360}{4} = 90 \text{ K}$$

№4
C₀, ε
h = ~~d~~ $\frac{d}{4}$
1) C - ?
2) q* - ?



1) Изменить емкость пара:

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d}, \text{ где } d - \text{расст. между обкладками, } S - \text{площадь обкладки}$$

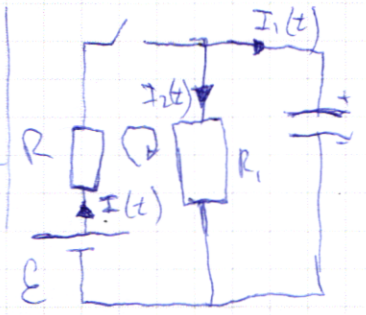
Введение пластин можно представить, как ~~два конденсатора~~ ~~как два конденсатора~~

~~Емкость первую~~ = C₁ = уменьшение расстояния

между обкладками на $h = \frac{d}{4} \Rightarrow$ значит, новая емкость будет равна $C = \frac{\epsilon_0 S}{\frac{3d}{4}} = \frac{4}{3} C_0$

2) заряд на конденсаторе до введения пластины $q_1 = C_0 \epsilon$
после введения $q_2 = C \epsilon = \frac{4C_0 \epsilon}{3} \Rightarrow q^* = q_2 - q_1 = \frac{C_0 \epsilon}{3}$

№5
R, 3R=R₁
C, ε
I(0) - ?
U(t_{уст}) - ?



$U_C(0) = 0$
 $I(0) - ?$
Ручка в момент времени t
 $I(t_{уст}) = 0$
 $U_C(t_{уст}) - ?$
заряд конденсатора q

ИЗК (3-й закон Кирхгофа): $I(t) = I_1(t) + I_2(t)$

ИЗК: $\epsilon = I(t)R + 3I_2(t)R$

ИЗК: $\epsilon = I(t)R + U_C(t)$

В начальный момент времени (когда ключ замкнут)

напряжение на конденсаторе $U = 0 \Rightarrow I(0) = \frac{\epsilon}{R}$

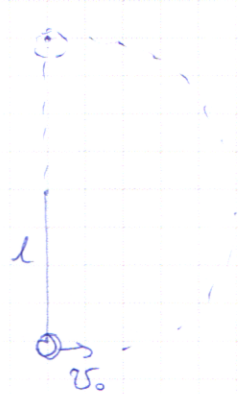
Ток через конденсатор в установившемся режиме не течет

$$I_1(t_{уст}) = 0 \Rightarrow \begin{cases} I(t_{уст}) = I_2(t_{уст}) \\ \epsilon = 4I(t_{уст})R \\ \epsilon = I(t_{уст})R + U_C(t_{уст}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} I(t_{уст}) = \frac{\epsilon}{4R} \\ \epsilon = \frac{\epsilon}{4} + U_C(t_{уст}) \\ U_C(t_{уст}) = \frac{3\epsilon}{4} \end{cases}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1
мин v_0 - ?
 $l = 0,5 \text{ м}$
 $g = 10 \text{ м/с}^2$



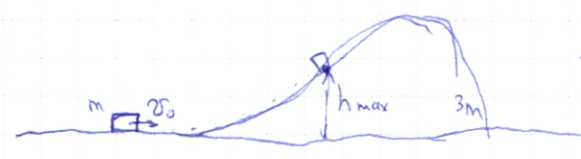
ЗЗЗ: $\frac{mv_0^2}{2} = 2mgl$

$v_0 = 2\sqrt{gl}$

$v_0 = 2\sqrt{0,5 \cdot 10} = 2\sqrt{5} \approx 4,46 \text{ м/с}$

Ответ: 4,46 м/с

№2
 $m, v_0, 3 \text{ м}$
 $h_{\text{max}} - ?$
 $v - ?$



$mgh_{\text{max}} = \frac{mv^2}{2}$
 $v = \sqrt{2gh_{\text{max}}} = \sqrt{\frac{2v_0^2}{3}} = v_0 \sqrt{\frac{2}{3}}$

ЗЗЗ: $\frac{mv_0^2}{2} = mgh_{\text{max}} + \frac{3mv^2}{2}$

ЗЗУ: $mv_0 = 3mv$

$v_0 = 3v$

$v = \frac{v_0}{3}$

$9v_0^2 = 2gh_{\text{max}} + 3v^2$

$6v_0^2 = 2gh_{\text{max}}$

$\frac{2v_0^2}{3} = 2gh_{\text{max}}$

~~$v_0 = \sqrt{3}$~~

$h_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{3g}$

$mgh_{\text{max}} = \frac{mv_0^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$

$2gh_{\text{max}} = v_0^2 + v^2$

$v^2 = 2gh_{\text{max}} - v_0^2$

$v = \sqrt{\frac{2v_0^2}{3} - v_0^2} = \frac{v_0\sqrt{5}}{3}$

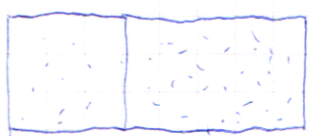
Ответ: $h_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{3g}$; ~~$v = \frac{v_0\sqrt{5}}{3}$~~

№3
 $V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$

$t_1 = 27^\circ\text{C}$, $V_1 = 0,2 \text{ моль}$

$t_2 = 7^\circ\text{C}$, $V_2 = 0,3 \text{ моль}$
 ~~$t - ?$, $P_k - ?$~~

$T_1 = 273 + 27 = 300 \text{ К}$
 $T_2 = 270 \text{ К}$



Внутренняя энергия до взаимодействия и после взаимодействия не увеличивается \Rightarrow

$\frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_2) + \frac{3}{2} \nu_2 R (T - T_2) =$

~~.....~~

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4

ϵ, C_0
 $h = \frac{d}{4}$

$$C_0 = \frac{\epsilon S}{d}$$

$$C = \frac{\epsilon S}{\frac{3}{4}d} = \frac{4}{3}C_0$$

$$q_1 = C_0 \epsilon E$$

$$q_2 = \frac{4}{3}C_0 \epsilon E$$

№5

$$q = \frac{C_0 \epsilon E}{3}$$

$$I(t) = I_1(t) + I_2(t)$$

$$\epsilon = I(t)R + 3I_2(t)R$$

$$\epsilon = I(t)R + U_C(t)$$

~~$P_1 + P_2 = P_k$~~

~~$\frac{P_1}{2} = P_k$~~

$$P_2 V_1 = P_1 R T_1$$

$$P_2 (V - V_1) = P_2 R T_2$$

$$P_1 + P_2 = P_k \quad - ?$$

$$P_k V = P R T$$

$$P_k = \frac{P R T}{V} =$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)